



Проанализировано влияния температуры и влажности на качество изоляции путевых выключателей прямого действия. По результатам работы в первой части получены опытные зависимости, которые описывают изменение сопротивления изоляции путевых выключателей полумгновенного действия в функции времени для разных значений температуры окружающей среды при условии неизменности остальных факторов, влияющих на качество изоляции. Во второй части аналогичное исследование проведено для разных значений относительной влажности также при условии неизменности остальных факторов, влияющих на качество изоляции. Для полученных зависимостей определены эмпирические формулы, которые пригодны для ускоренной оценки коммутационной износостойкости.



УДК 621.316

В.П. Самошкин,
кад. техн. наук,
П.Н. Алаев
Харьковская
национальная академия
городского хозяйства

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ НА СРОК СОХРАНЯЕМОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ПУТЕВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Введение. В современной теории электроэрозионных явлений недостаточно полно рассмотрены, с приемлемой для практического применения точностью, количественные характеристики износа контактных элементов электрических аппаратов в реальных условиях их эксплуатации. К тому же, чаще используется зависимость ресурса от температуры, влажности и т.п. $L(t)$ [2]. Это приводит к необходимости поиска эмпирических зависимостей, пригодных для ускоренной оценки коммутационной износостойкости. Особенно актуальным это становится для электрических аппаратов с высокой износостойкостью, таких как путевые выключатели прямого действия. Для этих аппаратов испытания на износ продолжаются длительное время, и принимать оперативное решение в процессе их разработки и изготовления невозможно.

Причиной пробоя изоляции является значительное перенапряжение при размыкании индуктивной цепи. При длительном пребывании выключателей во влажной атмосфере сопротивление изоляции между токоведущими частями сильно снижается, что может служить причиной отказа. Образующийся в результате горения электрической дуги озон является сильным окислителем аммиака, и в соединении с влагой получают азотистая и азотная кислоты. Скорость поглощения влаги изоляционным материалом зависит от разности парциальных давлений водяного пара. Если образцы одного и того же изоляционного материала поместить в одинаковые условия по значениям абсолютной влажности воздуха, но при разных температурах, т.е. при разных значениях относительной влажности воздуха, то увлажнение будет происходить быстрее там, где относительная влажность выше, и равновесное состояние наступит быстрее при более высокой относительной влажности, т.е. при более низкой температуре.

Цель и задача данной работы – это анализ влияния температуры и влажности на качество изоляции путевых выключателей прямого действия и разработка методики ускоренной оценки данных параметров. Исследование проводится на временном отрезке от 0 до 10 часов. Работа разбивается на две части.

В первой части необходимо получить опытные зависимости, которые описывают изменение сопротивления изоляции путевых выключателей в функции времени для

температуры окружающей среды 40, 50, 60 и 70 °С при условии неизменности остальных факторов, влияющих на качество изоляции. Во второй части аналогичный анализ проводится для относительной влажности 60, 70, 80, 90 и 100 %.

Изложение основного материала

1 Анализ влияния температуры на срок сохраняемости изоляции путевых выключателей.

По результатам серии испытаний путевых выключателей полумгновенного действия в камере тепла при изменяемом параметре – температуре, и неизменяемых параметрах – относительной влажности воздуха и концентрации азотистой кислоты построены кривые изменения сопротивления изоляции в функции времени для температуры 40, 50, 60 и 70 °С (рис. 1, табл. 1).

Из приведенных на рис. 1 опытных кривых видно, что сопротивление изоляции выключателей во времени на интервале $0 < t \leq 10$ часов имеет нелинейный характер (зависимость гиперболического типа). Для аппроксимации данных функций применим известный математический метод – интерполяция (нахождение закона внутри заданного интервала) функции многочленом Лагранжа [1]. Как известно, чем больше опытных точек, тем выше точность, но при этом расчет становится более трудоемким. В данном случае, учитывая, что имеется 6 опытных точек, имеем многочлен 5-го порядка, соответственно сумма в формуле (1) будет иметь 6 слагаемых.

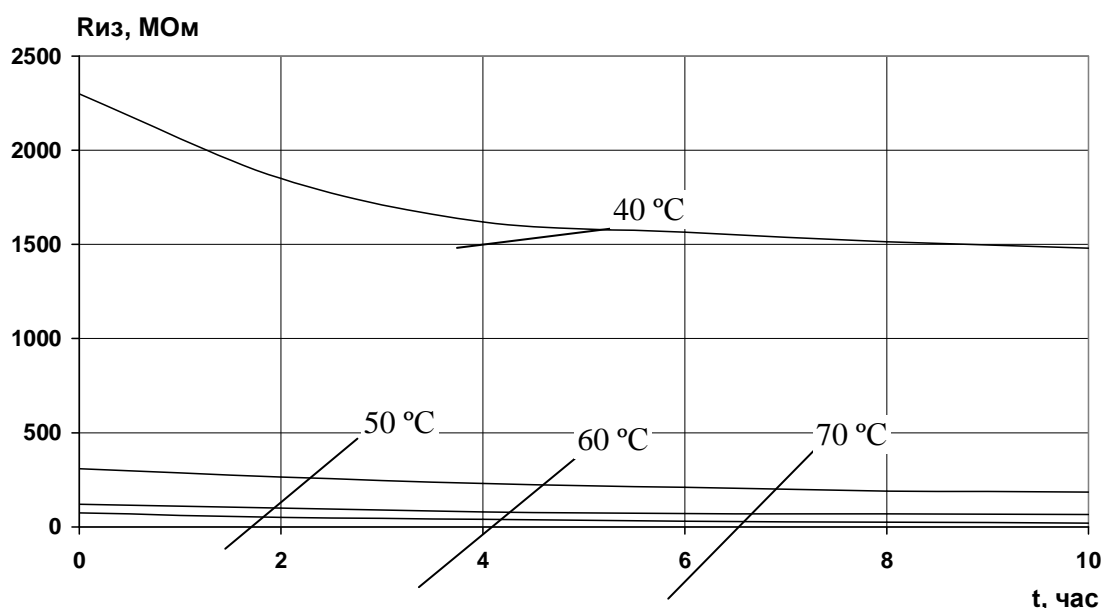


Рис. 1. Зависимости $R_{из}(t)$ для разных значений температуры окружающей среды при неизменных параметрах относительной влажности воздуха и концентрации азотистой кислоты

В общем виде имеем формулу для построения полинома:

$$R_{из} = \sum_{i=1}^n \frac{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (t - t_j)}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (t_i - t_j)} \cdot R_i \quad (1)$$

Таблица 1

Время замера сопротивления изоляции, час	Сопротивление изоляции, МОм			
	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0	2300	310	120	75
2	1850	265	100	50
4	1620	230	80	40
6	1565	210	70	30
8	1515	190	68	25
10	1480	185	65	20

В данном случае имеем:

$$R_{из} = R_{из1} + R_{из2} + R_{из3} + R_{из4} + R_{из5} + R_{из6} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} R_{из1} &= \frac{(t-t_2) \cdot (t-t_3) \cdot (t-t_4) \cdot (t-t_5) \cdot (t-t_6)}{(t_1-t_2) \cdot (t_1-t_3) \cdot (t_1-t_4) \cdot (t_1-t_5) \cdot (t_1-t_6)} \cdot R_1; \\ R_{из2} &= \frac{(t-t_1) \cdot (t-t_3) \cdot (t-t_4) \cdot (t-t_5) \cdot (t-t_6)}{(t_2-t_1) \cdot (t_2-t_3) \cdot (t_2-t_4) \cdot (t_2-t_5) \cdot (t_2-t_6)} \cdot R_2; \\ R_{из3} &= \frac{(t-t_1) \cdot (t-t_2) \cdot (t-t_4) \cdot (t-t_5) \cdot (t-t_6)}{(t_3-t_1) \cdot (t_3-t_2) \cdot (t_3-t_4) \cdot (t_3-t_5) \cdot (t_3-t_6)} \cdot R_3; \\ R_{из4} &= \frac{(t-t_1) \cdot (t-t_2) \cdot (t-t_3) \cdot (t-t_5) \cdot (t-t_6)}{(t_4-t_1) \cdot (t_4-t_2) \cdot (t_4-t_3) \cdot (t_4-t_5) \cdot (t_4-t_6)} \cdot R_4; \\ R_{из5} &= \frac{(t-t_1) \cdot (t-t_2) \cdot (t-t_3) \cdot (t-t_4) \cdot (t-t_6)}{(t_5-t_1) \cdot (t_5-t_2) \cdot (t_5-t_3) \cdot (t_5-t_4) \cdot (t_5-t_6)} \cdot R_5; \\ R_{из6} &= \frac{(t-t_1) \cdot (t-t_2) \cdot (t-t_3) \cdot (t-t_4) \cdot (t-t_5)}{(t_6-t_1) \cdot (t_6-t_2) \cdot (t_6-t_3) \cdot (t_6-t_4) \cdot (t_6-t_5)} \cdot R_6 \end{aligned} \quad (3)$$

После математических преобразований получим искомые зависимости для каждой из кривых температуры (для упрощения математических расчетов и графических построений использовалась программа MS Excel из пакета MS Office):

$$\begin{aligned} R_{из\ 40^\circ C} &= 0,0793 \cdot t^5 - 1,911 \cdot t^4 + 14,062 \cdot t^3 - 12,8664 \cdot t^2 - 241,5584 \cdot t + 2300,16; \\ R_{из\ 50^\circ C} &= 0,0131 \cdot t^5 - 0,3146 \cdot t^4 + 2,5732 \cdot t^3 - 6,9736 \cdot t^2 - 16,4640 \cdot t + 309,888; \\ R_{из\ 60^\circ C} &= 0,0013 \cdot t^5 - 0,057 \cdot t^4 + 0,7588 \cdot t^3 - 3,0888 \cdot t^2 - 6,5216 \cdot t + 120,192; \\ R_{из\ 70^\circ C} &= -0,0079 \cdot t^5 + 0,2102 \cdot t^4 - 2,0436 \cdot t^3 + 9,1864 \cdot t^2 - 24,1952 \cdot t + 74,88. \end{aligned}$$

В данной работе исследовалось сопротивление изоляции выключателей только на временном отрезке от 0 до 10 часов, но можно отметить, что экспериментальным путем установлено, что после 10 часов пребывания путевых выключателей в камере тепла изменение сопротивления их изоляции во времени аппроксимируется линейной зависимостью вида:

$$R_{из} = R_0 - a \cdot t. \quad (4)$$

Для нахождения данной зависимости необходимо знать сопротивление изоляции для двух значений времени (например, для 15 и 20 часов), а затем применить известную математическую формулу для прямой, проходящей через две точки $M_1(t_1; R_1)$ и $M_2(t_2; R_2)$:

$$\frac{R_{из} - R_1}{R_2 - R_1} = \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

Тогда получим искомые коэффициенты (порядок подстановки точек не имеет значения):

$$\begin{aligned} R_0 &= R_1 - t_1 \cdot \frac{R_2 - R_1}{t_2 - t_1}; \\ a &= \frac{R_2 - R_1}{t_2 - t_1} \end{aligned} \quad (6)$$

Необходимо отметить, что данные прямые с ростом температуры практически параллельны оси абсцисс, т.е. коэффициент a (или тангенс угла наклона их к оси времени) стремится к нулю ($a \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$).

2 Анализ влияния влажности на срок сохраняемости изоляции путевых выключателей.

По результатам серии испытаний путевых выключателей полумгновенного действия в камере тепла при изменяемом параметре – относительной влажности воздуха, и неизменяемых параметрах – температуре окружающей среды и концентрации азотистой кислоты построены кривые изменения сопротивления изоляции в функции времени для относительной влажности воздуха 60, 70, 80, 90 и 100 % (рис. 2, табл. 2).

Из приведенных на рис. 2 опытных кривых видно, что сопротивление изоляции выключателей во времени на интервале $0 < t \leq 10$ часов имеет нелинейный характер (зависимость гиперболического типа), а после 10 часов пребывания путевых выключателей в камере тепла изменение их сопротивления изоляции во времени аппроксимируется линейной зависимостью (4).

Таким образом, можно применить методику, описанную в п.1 [1].

В результате интерполяции искомых функций многочленом Лагранжа получим для каждой из кривых относительной влажности:

$$R_{из\ 60\%} = -0,0313 \cdot t^5 + 1,043 \cdot t^4 - 13,9724 \cdot t^3 + 98,404 \cdot t^2 - 418,8288 \cdot t + 6400,13;$$

$$R_{из\ 70\%} = -0,0417 \cdot t^5 + 1,1466 \cdot t^4 - 12,0892 \cdot t^3 + 67,932 \cdot t^2 - 275,9936 \cdot t + 1959,94;$$

$$R_{из\ 80\%} = 0,0469 \cdot t^5 - 1,1988 \cdot t^4 + 9,698 \cdot t^3 - 12,7632 \cdot t^2 - 184,368 \cdot t + 1759,87;$$

$$R_{из\ 90\%} = 0,0572 \cdot t^5 - 1,4562 \cdot t^4 + 11,7528 \cdot t^3 - 19,0968 \cdot t^2 - 158,1344 \cdot t + 1120,13;$$

$$R_{из\ 100\%} = -0,0313 \cdot t^5 + 0,8862 \cdot t^4 - 9,5852 \cdot t^3 + 51,4392 \cdot t^2 - 151,0752 \cdot t + 299,9$$

Выводы

1) Сопротивление изоляции путевых выключателей с ростом температуры и при постоянной относительной влажности 80 % стремительно снижается (это хорошо заметно на рис. 1, если проанализировать величину "зазора" $\Delta R_{из}$ между кривыми, соответствующими 40 и 50 °С, по сравнению с "зазорами" между другими кривыми). Это значит, что скорость увлажнения при одинаковой относительной влажности с увеличением температуры растет быстрее, чем абсолютная влажность.

Таблица 2

Время замера сопротивления изоляции, час	Сопротивление изоляции, МОм				
	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
0	6400	1960	1760	1120	300
2	5860	1600	1400	800	140
4	5640	1420	1180	620	100
6	5520	1300	1100	580	80
8	5440	1240	1060	560	80
10	5380	1200	1040	540	80

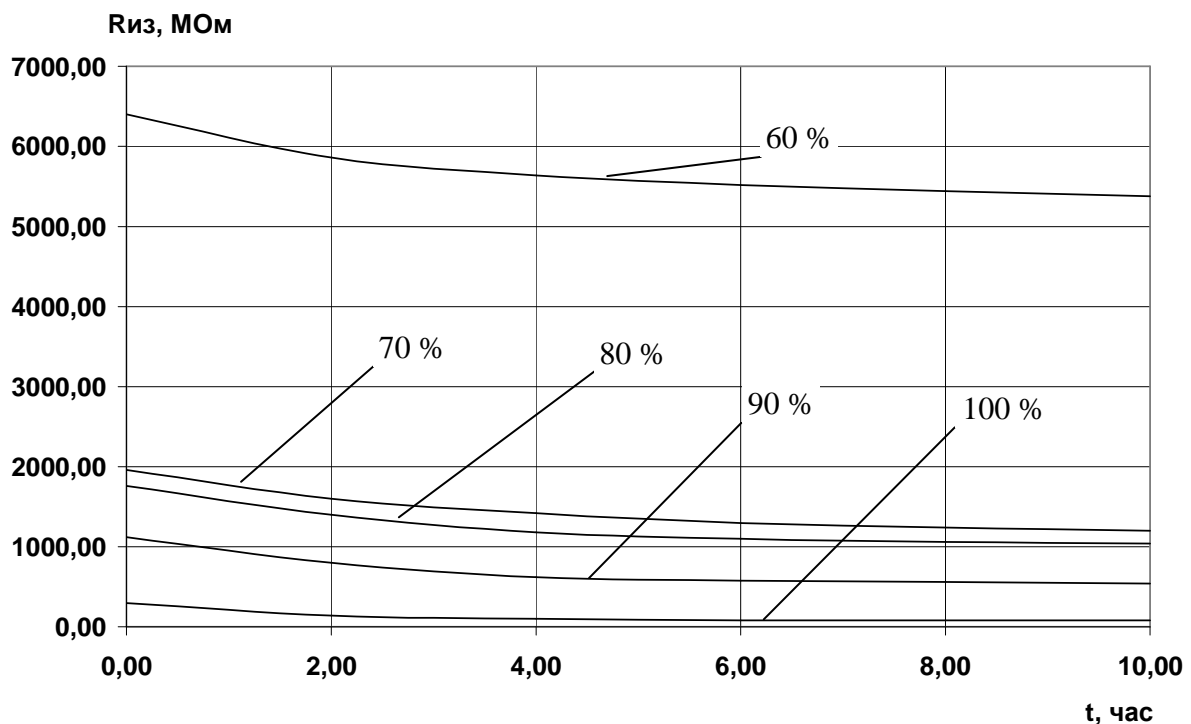


Рис. 2. Зависимости $R_{из}(t)$ для разных значений относительной влажности воздуха при неизменных параметрах температуры и концентрации азотистой кислоты

Данное явление можно объяснить тем, что скорость проникновения влаги в изоляцию с ростом температуры увеличивается под влиянием двух факторов: увеличения парциального давления паров влаги в окружающем пространстве и ускорения теплового движения молекулярных цепей диэлектрика. Последнее вызывает ускоренное образование межмолекулярных промежутков, в которых могут попадать молекулы воды, а также ускоренную диффузию молекул воды в глубь изоляции.

2) Сопротивление изоляции путевых выключателей с ростом относительной влажности и при постоянной температуре $35-40^{\circ}\text{C}$ стремительно снижается (это хорошо заметно на рис. 2, если проанализировать величину "зазора" $\Delta R_{из}$ между кривыми, соответствующими 60 и 70 %, по сравнению с "зазорами" между другими кривыми). Это значит, что скорость увлажнения изоляции при этом зависит от разности между максимально возможным содержанием паров воды при данной температуре в окружающем изоляцию пространстве. Чем больше эта разность, тем меньше влаги должна поглотить изоляция для того, чтобы было достигнуто равновесное состояние между

изоляция и окружающим пространством, т.е. тем меньше будет увлажнение изоляции. Иными словами, в этом случае скорость увлажнения будет зависеть от относительной влажности воздуха.

3) Полученная методика позволяет оценивать состояние изоляции во временном интервале от 0 до 10 часов и может быть распространена на оценку изоляции электрические аппараты других типов. После 10 часов пребывания путевых выключателей в камере тепла изменение сопротивления их изоляции во времени описывается линейной зависимостью, при чем полученные прямые при увеличении как температуры, так и влажности практически параллельны оси времени, т.е. наблюдается установившийся режим, когда сопротивление практически не изменяется. При оценке состояния изоляции необходимо отталкиваться от минимально допустимой величины сопротивления ее изоляции, равной 0,5 МОм.

Литература

- [1] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Совместное издание: Лейпциг: "Тойбнер" и М.: "Наука", 1981, – 720 с.
- [2] ГОСТ 10518-88. Системы электрической изоляции. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ І ВОЛОГОСТІ НА ТЕРМІН ЗБЕРЕЖНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ ШЛЯХОВИХ ВИМИКАЧІВ ПРЯМОЇ ДІЇ

В.П. Самошкін, П.М. Алаєв

Проаналізовано вплив температури і вологості на якість ізоляції шляхових вимикачів прямої дії. За результатами роботи в першій частині отримані дослідні залежності, що описують зміну опору ізоляції шляхових вимикачів напівмиттєвої дії у функції часу для різних значень температури навколишнього середовища за умови незмінності інших факторів, що впливають на якість ізоляції. В другій частині аналогічне дослідження проведене для різних значень відносної вологості також за умови незмінності інших факторів, що впливають на якість ізоляції. Для отриманих залежностей визначені емпіричні формули, що придатні для прискореної оцінки комутаційної зносостійкості.

THE ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECT AND HUMIDITY INFLUENCE THE TERM OF PRESERVATIONS OF ISOLATION OF TRAVELLING DISCONNECTING SWITCHES OF DIRECT ACTION

V.P. Samoshkin, P.N. Alaev

Is parsed temperature effects and humidities on quality of isolation of travelling disconnecting switches direct acting. By results of activity in the maiden part the experimental relations are obtained, which one describe change of isolation of travelling disconnecting switches half instantaneous of operating in a function of time for miscellaneous values of ambient temperature under condition of an invariance of the remaining factors influential in quality of isolation. In the second part the similar research is conducted for miscellaneous values of relative humidity also under condition of an invariance of the remaining factors influential in quality of isolation. For the obtained relations the trial-and-error formulas are determined, which one are suitable for an accelerated estimation of a switching wear resistance.